

不同砧木嫁接对西瓜生长、产量、品质及抗枯萎病的影响

陈 驿, 薛宇星, 马建祥, 张 勇, 魏春华, 张 显, 李 好

(西北农林科技大学园艺学院 陕西杨凌 712100)

摘要: 枯萎病是西瓜发生连作障碍的最主要因素, 嫁接是防治西瓜枯萎病的有效手段。以玲珑王为接穗, 以西瓜自交系 M08、野生西瓜种质 ZTC、杂交组合 M08×ZTC 和白籽南瓜等不同材料为砧木, 以玲珑王实根苗与自根苗为对照, 研究 4 种不同砧木嫁接对设施连作地西瓜生长、枯萎病抗性、果实产量及品质的影响。结果表明, 相较于实生苗, 4 种不同砧木嫁接的西瓜植株枯萎病发病率与病情指数均降低, 其中白籽南瓜抗枯萎病效果最优, 其次为 ZTC。白籽南瓜、ZTC、M08×ZTC 作砧木均可促进西瓜生长, 产量较玲珑王实生苗分别显著提高 167.71%、67.70% 和 51.55%。采用隶属函数值法对西瓜果实品质进行综合评价, 结果表明, ZTC 作砧木能提高西瓜品质, 而其他砧木会导致果实品质下降, 因此 ZTC 可作为砧木用于连作地的优质西瓜生产。

关键词: 西瓜; 砧木; 嫁接; 产量; 品质; 枯萎病

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)01-078-09

Effects of different rootstocks on the growth, yield, quality, and resistance to wilt disease in watermelon

CHEN Yi, XUE Yuxing, MA Jianxiang, ZHANG Yong, WEI Chunhua, ZHANG Xian, LI Hao

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: *Fusarium* wilt is the primary factor causing continuous cropping obstacles in watermelon, and grafting is an effective method for controlling this disease. Linglongwang was used as scion, and different materials including watermelon inbred line M08, wild watermelon germplasm ZTC, hybrid combination M08×ZTC, and white-seeded pumpkin were used as rootstocks, with seedling and self-rooted seedling of Linglongwang as the control, this study investigated the effects of four different rootstock grafting treatments on watermelon growth, *Fusarium* wilt resistance, fruit yield, and quality in protected continuous cropping fields. The results showed that compared with seedlings grown from seeds, the incidence rate and disease index of *Fusarium* wilt in watermelon plants grafted onto the four rootstocks were all reduced. Among them, white-seeded pumpkin exhibited the best *Fusarium* wilt resistance, followed by ZTC. Grafting onto white-seeded pumpkin, ZTC, or M08×ZTC all promoted watermelon growth, with yields significantly increasing by 167.71%, 67.70%, and 51.55%, respectively, compared to the seed-grown seedlings of the Linglongwang cultivar. A comprehensive evaluation of watermelon fruit quality using the subordinate function value method indicated that ZTC as rootstock improved fruit quality, while grafting onto other rootstocks led to a decline in quality. Therefore, ZTC can be used as rootstock for high-quality watermelon production in continuous cropping fields.

Key words: Watermelon; Rootstock; Grafting; Yield; Quality; *Fusarium* wilt

西瓜 [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai.] 是我国农业生产中重要的经济作物之一, 是世界第五大水果, 果肉甘甜多汁、营养丰富, 具有清热消暑、利尿解毒的功效, 深受消费者喜爱。我国是世界上最大的西瓜生产国, 占世界西瓜生产总面积和总产量的 45% 以上^[1]。目前西瓜的保护地栽培技

术由于设施的不可移动性与多年连续栽培, 难以避免发生严重的连作障碍, 降低了果实品质, 而连作障碍主要是枯萎病引起的。作为一种维管束病害, 枯萎病已严重影响西瓜的产量和品质^[2]。

枯萎病是西瓜生产中影响最为严重的病害之一, 发病率通常在 5% 左右, 严重时可达 50%^[3], 在全

收稿日期: 2025-01-01; 修回日期: 2025-08-20

基金项目: 国家西甜瓜产业技术体系 (CARS-25); 陕西省创新人才推进计划-青年科技新星项目 (2022KJXX-80)

作者简介: 陈 驿, 女, 在读博士研究生, 研究方向为西瓜生理生态。E-mail: 2248914349@qq.com

通信作者: 李 好, 男, 教授, 主要从事西瓜甜瓜逆境抗性调控及机制研究。E-mail: yuanyilihao123@163.com

球每年因枯萎病造成的西瓜产量损失可达 70%^[4]。枯萎病在植株整个生育期均可发生,但以开花结果期发病最多且严重^[5]。目前研究的西瓜枯萎病大多是由半知菌亚门镰孢属尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, FON)寄生引起的一种土传真菌性维管束病害^[6]。病原体可以在栽培土壤中存活 10 a(年)以上,并且传播方式多样,可以通过昆虫、种子传播,甚至可以通过灌溉设备等进行传播。受枯萎病感染的植株由于发育不良,只能结出更少更小的果实,甚至绝收,造成严重的经济损失。病原菌产生的孢子难以消除,在没有宿主的土壤中能够存活长达 10 a。入冬时,土壤中的病原体通常以菌丝体、厚垣孢子的形式残存在枯死的植株上,到翌年春季,再次侵染新的植物体^[7]。

20 世纪 20 年代,蔬菜嫁接技术最早在日本及朝鲜地区出现,主要用于解决西瓜连作障碍问题。此后,该技术逐渐扩展至其他瓜类和茄果类蔬菜的生产。到了 20 世纪 50 年代末期,蔬菜嫁接技术开始得到大面积推广与应用。目前,嫁接技术是解决西瓜重茬连作障碍、土传病害等问题的有效途径之一,同时可以增强植物对低温、盐胁迫等逆境伤害的抵抗能力,并提高产量,改善品质^[8-9]。利用对镰刀菌西瓜专化型具有抗性 or 免疫能力的砧木进行嫁接,常用的砧木为南瓜、葫芦和野生西瓜等,可以有效克服连作障碍,减少生理病害并提高产量。目前,国内外还没有防治所有枯萎病生理小种的种苗和特效药,因此嫁接是防治西瓜枯萎病并提高西瓜品质、产量的有效措施。但目前以南瓜、葫芦等为砧木进行嫁接生产出来的西瓜果实品质较低。研究表明,葫芦和南瓜嫁接西瓜后,果实质量分别增加 12.94%和 24.53%;但南瓜显著降低了果实品质,其风味和总可溶性固形物含量分别降低 5.85%和 4.23%^[10]。我国西瓜砧木选育工作起步较晚,一些地区西瓜嫁接的常用砧木是从日本引进的新土佐系列砧木,但随着科研人员对西瓜砧木育种研究的逐渐深入,目前也推出了一系列的精品砧木,如超丰 F1^[11]、西嫁强生、京欣系列砧^[12-13]、甬砧系列砧木^[14-16]和青研砧木系列^[17]。鉴于此,笔者选用西瓜自交系 M08、野生西瓜种质 ZTC、杂交组合 M08×ZTC 和白籽南瓜 4 种不同砧木开展田间试验,分析不同砧木嫁接对西瓜枯萎病防治及产量和品质的影响,以期在生产上筛选出高抗西瓜枯萎病且能提高西瓜品质与产量的优异砧木。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验于 2022 年 5 月至 2023 年 4 月在西北农林科技大学杨凌综合试验示范站西瓜连作 12 a 的塑料大棚内进行。供试砧木分别为西瓜栽培品种西瓜自交系 M08、杂交组合 M08×ZTC、野生西瓜种质 ZTC、砧用白籽南瓜青研一号,以西瓜栽培品种玲珑王为接穗。以上供试材料均由西北农林科技大学西瓜甜瓜课题组提供。

1.2 方 法

供试砧木种子播种于 50 孔穴盘中,接穗种子在砧木播后 5~7 d 播种于 72 孔穴盘中。待砧木初现第一片真叶且接穗子叶快展平时,采用“单子叶贴接法”进行嫁接。试验共设有 6 个处理,分别为玲珑王(实生苗,CK1)、玲珑王/玲珑王(CK2)、玲珑王/M08(T1)、玲珑王/M08×ZTC(T2)、玲珑王/ZTC(T3)、玲珑王/白籽南瓜(T4),其中玲珑王(实生苗)和自根嫁接苗玲珑王/玲珑王为对照组。嫁接前 1 d,砧木和接穗都必须浇透水,呈吸胀状态,保证足够的湿度以提高嫁接成活率。嫁接完成后,将嫁接苗置于育苗温室的小拱棚内,覆盖遮阳保湿膜,前 3 d 进行遮光处理。前 7 d 保持白天温度在 28~30 ℃,夜晚温度在 18~20 ℃,湿度保持在 90%~95%,在第 3~4 天后的清晨或傍晚可以进行少量通风换气。一般 7~10 d 后可揭膜,将成活的嫁接苗转移至苗床进行管理。采用随机区组设计,每个处理定植 100 株,株行距为 30 cm×80 cm。嫁接苗 3 叶 1 心以上进行定植,采取吊蔓栽培。植株生长过程中采取双蔓整枝,花期选择主蔓上第二或第三雌花节位处进行人工授粉。坐果后进行疏果,每株选留 1 个无虫害、无变形且发育良好的果实。分别于伸蔓期、开花坐果期、果实膨大期 3 个时期对植株株高、主蔓茎粗、主蔓叶片数进行调查并记录;在定植后对田间枯萎病发病率以及病情指数进行统计;在西瓜成熟采摘后,对单瓜质量、果形、皮厚、可溶性固形物含量以及各品质指标进行测定。

1.3 指标测定

1.3.1 生长指标 生长指标测定时期包括西瓜伸蔓期(定植后 20 d)、开花坐果期(定植后 32 d)、果实膨大期(定植后 44 d),采用卷尺测量从主蔓嫁接处至生长点的距离为株高;采用游标卡尺测量嫁接处至主茎基部的粗度为主蔓茎粗,主蔓叶片数为从主蔓基部第一片真叶到蔓顶端最后一片叶。每个

小区随机选取5株长势一致、具有代表性的植株进行测定。每个试验处理均设置3次重复。

1.3.2 果实形态、产量指标 果实成熟后,每个小区随机选取5个授粉时期一致、长势一致并具有代表性的西瓜进行采收,测定其形态与产量指标。使用电子秤称量单瓜质量,并折算产量。将西瓜纵切后,采用直尺测量果实纵径、横径及皮厚,并计算果形指数(纵径/横径)。

1.3.3 果实品质指标 使用TD-45手持测糖仪(浙江托普仪器有限公司)分别测定中心和边部可溶性固形物含量,并计算中边差。采用蒽酮比色法测定可溶性总糖含量,采用3,5-二硝基水杨酸法测定还原糖含量,采用考马斯亮蓝G-250染色法测定可溶性蛋白含量^[18]。采用分光光度法(UV-6100紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司)测定番茄红素含量^[18]。

1.3.4 西瓜枯萎病调查 在定植后对西瓜枯萎病进行调查,参照Martyn^[6]提出的病株分级标准,将发病植株共分为5级,发病率和病情指数具体计算公式如下:

发病率/%=病级数为3级以上的发病植株之和/调查总株数×100;

病情指数= Σ (各个级别病株数×病级数)/(总株数×最高病级)。

1.4 数据分析

西瓜果实品质综合评价应用模糊数学中的隶属函数值法^[19]。中心可溶性固形物、可溶性总糖、还原糖、番茄红素和可溶性蛋白含量均为正相关指标。计算公式: $R(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$ 。

式中: X_i 为指标测定值; X_{max} 、 X_{min} 为所测某一指

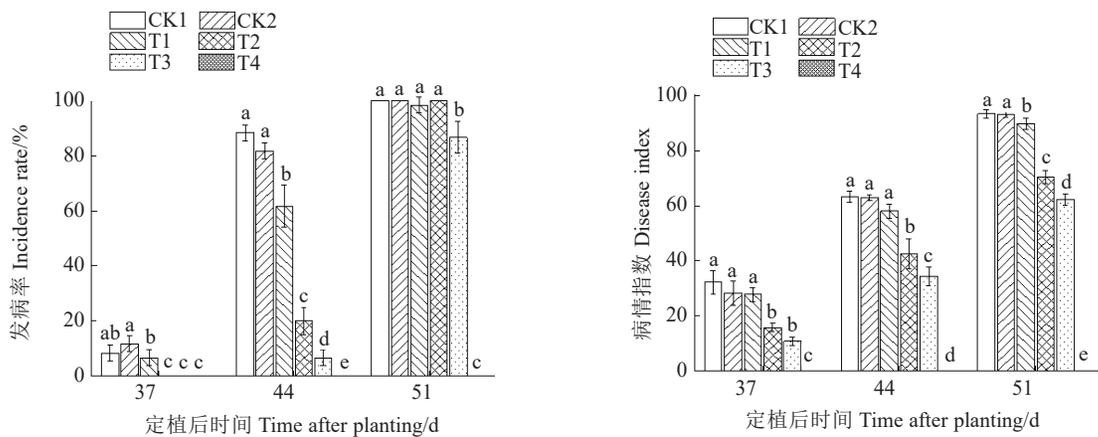
标中最大与最小值,综合得分为各指标隶属函数值之和。

采用Microsoft Excel 2010整理试验数据,采用IBM SPSS Statistics 19进行数据分析,采用Duncan检验方法($P<0.05$)进行差异显著性分析,采用Origin 2018作图。

2 结果与分析

2.1 不同砧木嫁接对连作地西瓜枯萎病的影响

参照病株分级标准,发病率统计的标准为病级数在3级及以上的植株,而病情指数将病级为1~2级的植株也统计在内,反映的是群体枯萎病发病程度,病情指数越小,砧木品种抗枯萎病能力越强。由图1可以看出,在嫁接苗中,T4处理未发病,其余嫁接苗随着生育期推进发病程度逐渐加重。定植后37d时,T2和T3处理的植株病级只表现为1级或2级,CK1、CK2及T1、T2、T3处理均发病,而T4处理的嫁接苗发病率和病情指数均为0,病情指数显著低于其他处理。在定植44d时,除T4处理外,其他处理的发病率与病情指数均明显上升,而玲珑王/白籽南瓜依然为0,显著低于其他处理;CK1与CK2的发病率分别达到88.33%、81.66%,病情指数分别为63.33、63.00,两者间发病率与病情指数均无显著差异,但显著高于除T1处理外的其他嫁接处理;而T1处理的发病率为61.66%,比CK1显著降低26.67个百分点;T2、T3、T4等3个处理的抗病效果均显著优于CK1和CK2。在定植51d时,除T4处理外,其他处理的发病率均在86%以上,CK1与CK2的发病率为100%,说明这两个处理的所有植株病级均在3级及以上;T4处理的发病率和病情指



注:不同小写字母表示同一时间的不同处理在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments of the same time at 0.05 level. The same below.

图1 不同砧木嫁接西瓜枯萎病发病率和病情指数

Fig. 1 Incidence rate and disease index of *Fusarium* wilt of watermelon grafted on different rootstocks

数均显著低于其他嫁接处理。

在田间表型对比上,从图2可以明显看出,T4处理的田间生长状态相较于对照CK1好,茎蔓翠绿,叶片并未出现萎蔫,而对照CK1与自根嫁接CK2植株的田间生长状态呈现萎蔫、茎蔓枯死状态,T1、T2和T3处理的表型较T4处理差,但优于

对照CK1与自根嫁接CK2。以上结果表明,T4处理的枯萎病抗性最强,其他砧木的枯萎病抗性从高到低依次为ZTC、M08×ZTC、M08。

2.2 不同砧木嫁接对连作地西瓜生长的影响

不同砧木嫁接对西瓜植株的生长会产生不同的影响。由表1可知,在测量的3个时期中,T4处

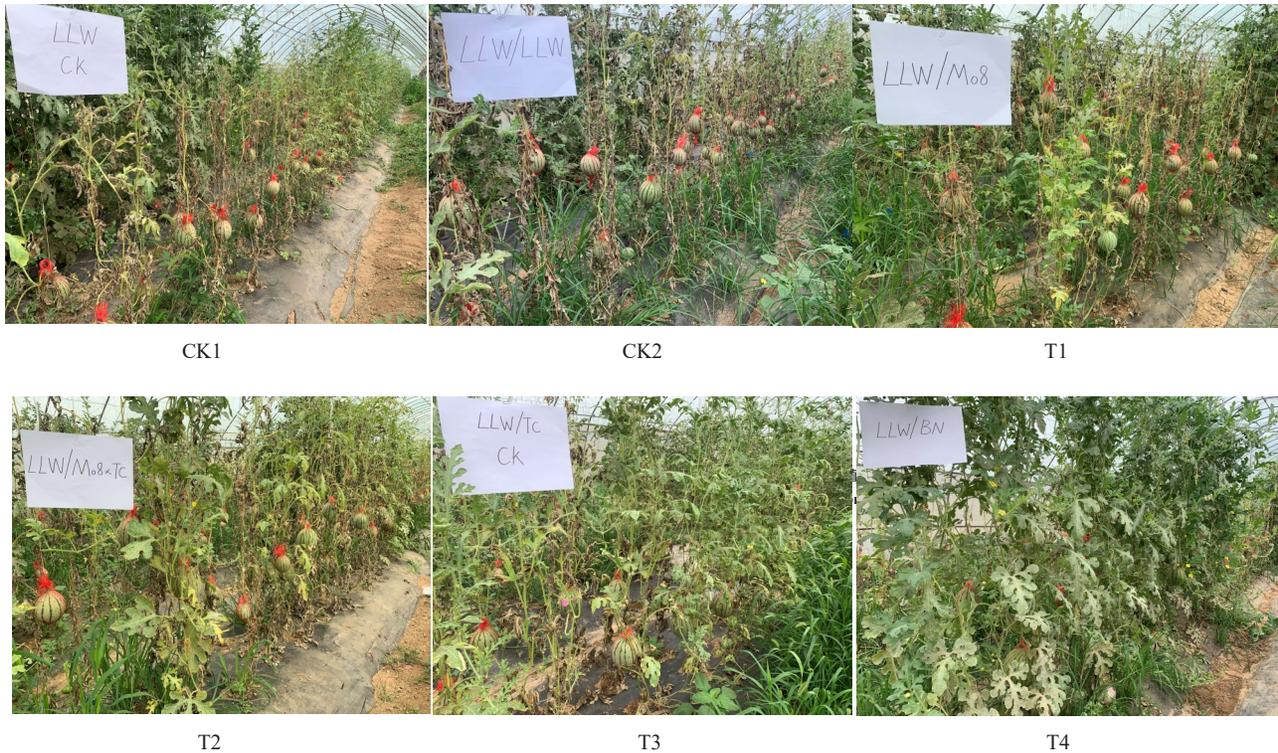


图2 不同砧木嫁接后西瓜植株的田间表型对比

Fig. 2 Field phenotypic comparison of watermelon plants grafted with different rootstocks

理的蔓长均显著高于对照CK1及其他嫁接处理,在伸蔓期、开花坐果期、果实膨大期分别达到57.56、153.00、231.14 cm,较CK1分别显著增长53.90%、49.85%、37.47%。T3与T2处理在3个时期的蔓长均无显著差异,但均显著高于CK1和CK2。T1处理在3个时期的蔓长均显著高于CK1,在果实膨大期达到180.29 cm。CK2在开花坐果期和果实膨大期的蔓长均与CK1无显著差异。

通过测定3个不同时期的主蔓茎粗,发现不同的砧木嫁接对西瓜主蔓茎粗具有不同程度的影响。从表2可知,T4处理的主蔓茎粗在3个时期均与CK1呈显著差异,在果实膨大期达到7.43 mm,与T3和T2处理无显著差异。在伸蔓期,除T4处理外,其他处理间的主蔓茎粗均无显著差异。在开花坐果期和果实膨大期,T3处理的主蔓茎粗与T2处理无显著差异,但均显著大于CK1;T1处理与

表1 不同砧木嫁接对西瓜蔓长的影响

Table 1 Effects of different rootstocks grafting on vine length of watermelon cm

处理 Treatment	伸蔓期 Sprout stage	开花坐果期 Flowering stage	果实膨大期 Expanding stage
CK1	37.40±3.75 d	102.10±4.85 d	168.14±12.06 d
CK2	33.17±3.09 e	103.46±6.01 d	174.43±10.28 cd
T1	40.57±1.13 c	111.57±4.28 c	180.29±6.10 c
T2	50.50±2.57 b	129.96±5.35 b	203.71±9.23 b
T3	49.86±2.90 b	126.43±6.97 b	209.57±8.89 b
T4	57.56±1.95 a	153.00±4.24 a	231.14±6.54 a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference between treatments(P<0.05). The same below.

CK1、CK2之间均无显著差异。

由表3可知,随着生育期的推进,各处理主蔓叶片数逐渐增加。在伸蔓期和开花坐果期,T4与

表2 不同砧木嫁接对西瓜主蔓茎粗的影响

Table 2 Effects of different rootstocks grafting on stem diameter of main vine of watermelon mm

处理 Treatment	伸蔓期 Sprout stage	开花坐果期 Flowering stage	果实膨大期 Expanding stage
CK1	4.05±0.26 b	5.24±0.22 c	6.42±0.12 d
CK2	4.11±0.17 b	5.14±0.34 c	6.63±0.63 cd
T1	4.26±0.18 b	5.46±0.24 bc	6.78±0.21 bcd
T2	4.05±0.16 b	5.67±0.28 b	7.19±0.30 abc
T3	4.28±0.20 b	5.72±0.29 b	7.28±0.28 ab
T4	4.64±0.11 a	6.10±0.46 a	7.43±0.92 a

T2 处理的主蔓叶片数均无显著差异,但显著高于玲珑王实生苗、自根嫁接苗和 T1 处理;T1 处理与 CK2 的主蔓叶片数无显著差异,并且叶片数低于 CK1。在果实膨大期,T4 处理的叶片数达到 22.43 片,显著高于其他处理,比玲珑王实生苗多 5 片;T3、T2 处理分别达到 19.43、20.00 片,显著高于玲珑王实生苗、自根嫁接苗和 T1 处理;T1 处理与玲珑王实生苗及自根嫁接苗均无显著差异。综上,与实生苗相比,当 M08×ZTC、ZTC、白籽南瓜作为砧木时可以显著促进植株生长,提高植株蔓长、主蔓茎粗和叶片数。

表3 不同砧木嫁接对西瓜主蔓叶片数的影响

Table 3 Effects of different rootstocks grafting on the leaf number of watermelon main vine

处理 Treatment	伸蔓期 Sprout stage	开花坐果期 Flowering stage	果实膨大期 Expanding stage
CK1	4.71±0.49 b	12.86±0.38 b	17.43±1.27 c
CK2	3.86±0.38 c	10.57±0.53 c	16.71±0.95 c
T1	4.29±0.49 bc	10.29±1.38 c	17.14±1.57 c
T2	5.86±0.90 a	14.14±1.21 a	20.00±0.82 b
T3	5.71±0.49 a	13.29±0.95 ab	19.43±0.79 b
T4	6.00±0.82 a	14.29±0.49 a	22.43±1.51 a

2.3 不同砧木嫁接对连作地西瓜果实形态和产量的影响

T4 处理果实的瓜瓢呈现空洞现象,但其果实明显大于其他处理,其次是 T2、T3 处理,而玲珑王实生苗、自根嫁接苗和 T1 处理的果实大小基本相同(图3)。

从表4可以看出,T4 处理的果实纵径达到 18.91 cm,显著高于其他处理,比对照玲珑王实生苗显著提高 48.43%;T3 处理的果实纵径与 T2 处理无显著差异,分别为 15.49、14.97 cm,分别比对照玲珑王实生苗显著提高 21.59%、17.50%;T1 处理的果实纵径与玲珑王实生苗和自根嫁接苗均无显著差

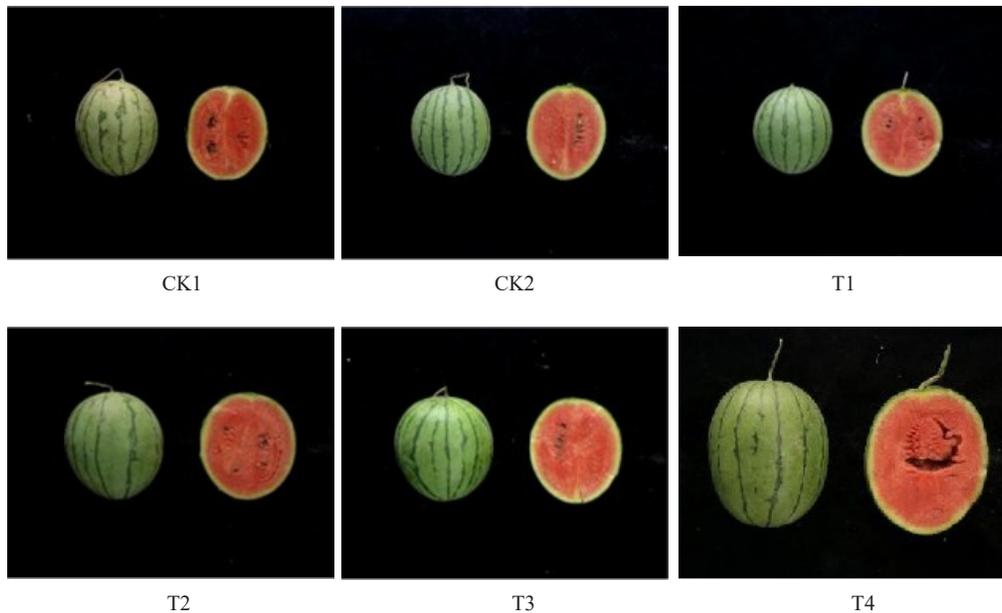


图3 不同砧木嫁接对西瓜果实表型和剖面的影响

Fig. 3 Effects of grafting with different rootstocks on the phenotype and profile of watermelon fruit

异。从果实横径来看,T4 处理达到 15.14 cm,显著高于其他嫁接处理,较玲珑王实生苗显著提高 33.27%;T3 处理的果实横径与 T2 处理无显著差异,分别为 13.49、13.19 cm,较对照 CK1 分别显著

提高 18.75%、16.11%;T1 处理与玲珑王实生苗和自根嫁接苗均无显著差异。从果形指数来看,T4 处理为 1.24,显著高于其他嫁接处理,T3、T2、CK2、T1 之间无显著差异,T2 处理与玲珑王实生苗无显著差

表4 不同砧木嫁接对西瓜果实形态的影响
Table 4 Effects of grafting with different rootstocks on fruit morphology of watermelon

处理 Treatment	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/cm	果实横径 Fruit transverse diameter/cm	果形指数 Index of fruit shape	果皮厚度 Thickness of fruit peel/cm
CK1	12.74±0.35 c	11.36±0.18 c	1.13±0.02 c	0.67±0.10 c
CK2	13.29±0.43 c	11.47±0.10 c	1.18±0.03 b	0.71±0.12 bc
T1	12.99±0.53 c	11.09±0.54 c	1.17±0.01 b	0.76±0.05 bc
T2	14.97±0.66 b	13.19±0.50 b	1.16±0.03 bc	0.79±0.04 ab
T3	15.49±0.56 b	13.49±0.47 b	1.19±0.05 b	0.71±0.04 bc
T4	18.91±0.62 a	15.14±0.43 a	1.24±0.02 a	0.87±0.11 a

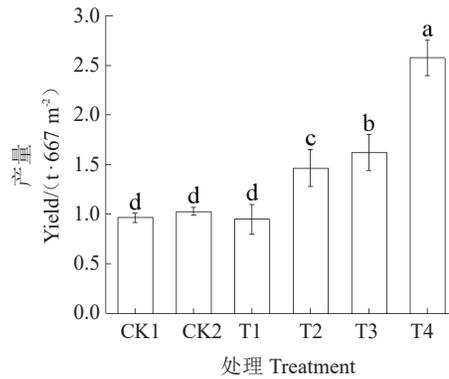
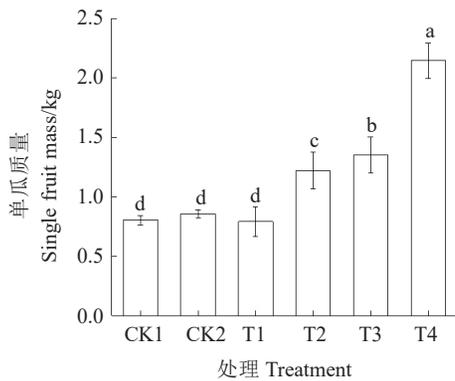


图4 不同砧木嫁接对单瓜质量和产量的影响

Fig. 4 Effects of different rootstocks grafting on single watermelon mass and yield

51.55%;CK2、T1 与 CK1 差异均不显著。综上,与实生苗相比,M08×ZTC、ZTC、白籽南瓜作为砧木时可以显著提高西瓜产量。

2.4 不同砧木嫁接对重茬西瓜果实品质的影响

可溶性固形物含量是衡量西瓜甜度的一个主要指标。由表5可知,各处理的中心可溶性固形物含量在9%~10%。其中,中心可溶性固形物含量最高的为T3处理,达到了9.96%,其次为T1处理,为9.63%,两者分别比玲珑王实生苗提高0.75、0.42

表5 不同砧木嫁接对西瓜果实可溶性固形物含量的影响
Table 5 Effects of different rootstocks grafting on soluble solids content of watermelon fruit %

处理 Treatment	w(中心可溶性固形物) Center soluble solids content	w(边部可溶性固形物) Edge soluble solids content	中边差 Difference of center and edge
CK1	9.21±0.79 b	7.44±0.76 b	1.77±1.10 b
CK2	9.50±0.54 ab	7.36±0.42 b	2.14±0.69 a
T1	9.63±0.38 ab	8.23±0.45 a	1.40±0.59 c
T2	9.13±0.26 b	7.16±0.10 b	1.97±0.28 b
T3	9.96±0.55 a	7.43±0.30 b	2.53±0.63 a
T4	9.14±0.66 b	7.24±0.36 b	1.90±0.75 b

异。从果皮厚度来看,T4、T2 处理分别为0.87、0.79 cm,两者无显著差异,但显著高于玲珑王实生苗,T1、T3、玲珑王实生苗及自根嫁接苗之间均无显著差异。综上,不同砧木嫁接会在不同程度上影响果实果形并增大果皮厚度。

产量是西瓜最重要的经济性状之一。由图4可以看出,T4 处理的单瓜质量和产量分别为2.14 kg 和 2.57 t·667 m²,较对照玲珑王实生苗分别显著提高167.50%、167.71%。其次是T3 和T2 处理,二者均显著高于玲珑王实生苗、自根嫁接苗和T1 处理,其中产量较CK1 分别显著提高67.70%和

分点;CK2 的中心可溶性固形物含量为9.50%,与其他嫁接处理均无显著差异。边部可溶性固形物含量最高的为T1 处理,达到8.23%,显著高于其他处理;其他各处理间无显著差异。在中边差指标中,中边差最大的为T3 处理,显著高于除自根嫁接苗(CK2)外的其他处理;T1 处理最小,显著低于玲珑王实生苗和自根嫁接苗及T2、T3 和T4 处理。

从图5可以看出,可溶性总糖含量最高的是T3 处理,达到了63.64 mg·g⁻¹,较玲珑王实生苗显著提高38.14%;其次是T1 处理,可溶性总糖含量为59.93 mg·g⁻¹,与T3 处理无显著差异,较玲珑王实生苗显著提高30.08%;CK2 的可溶性总糖含量与玲珑王实生苗无显著差异。玲珑王实生苗的还原糖含量最高,达到了12.54 mg·g⁻¹,但与各处理无显著差异。T3 处理的番茄红素含量最高,达到3.80 mg·100 g⁻¹,较玲珑王实生苗显著提高36.69%;其次是T4 处理,达到3.62 mg·100 g⁻¹,较玲珑王实生苗显著提高30.22%;番茄红素含量最低的为CK2,含量仅为1.94 mg·100 g⁻¹,较对照玲珑王实生苗显著降低30.22%。玲珑王实生苗的可溶性蛋白

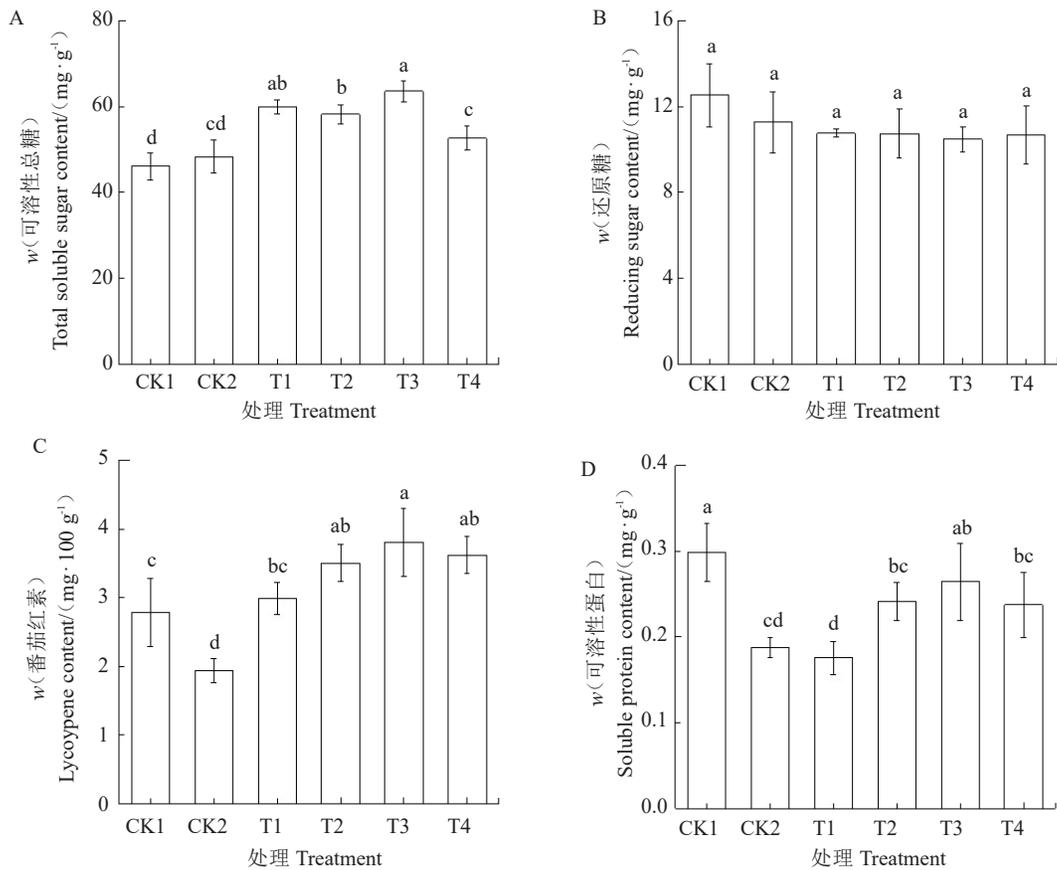


图5 不同砧木嫁接对西瓜果实品质的影响

Fig. 5 Effects of different rootstocks grafting on watermelon fruit quality

含量最高,达到 0.29 mg·g⁻¹,T3 处理为 0.26 mg·g⁻¹,与对照玲珑王实生苗无显著差异;T2 和 T4 处理显著低于玲珑王实生苗,但与 T3 处理无显著差异;可溶性蛋白含量最低的为 T1 处理,与 CK2 无显著差异。

笔者通过隶属函数排名对不同砧木嫁接后各果实品质进行综合评价。由表 6 可知,排名第一的为 T3 处理,其他各个处理的排名均在玲珑王实生苗之后,表明 ZTC 作砧木时可以提高果实品质,而其他砧木嫁接后均会引起果实品质下降。

表 6 不同砧木嫁接对西瓜果实品质影响的隶属函数综合排名

Table 6 Comprehensive ranking of membership functions for the effects of grafting on watermelon fruit quality with different rootstocks

处理 Treatment	中心可溶性固形物含量 Central soluble solids content	可溶性总糖含量 Total soluble sugar content	还原糖含量 Reducing sugar content	番茄红素含量 Lycopene content	可溶蛋白含量 Soluble protein content	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank
CK1	0.10	0.00	1.00	0.45	1.00	2.56	2
CK2	0.45	0.13	0.38	0.00	0.10	1.06	6
T1	0.60	0.79	0.14	0.56	0.00	2.09	4
T2	0.00	0.69	0.13	0.84	0.53	2.19	3
T3	1.00	1.00	0.00	1.00	0.48	3.72	1
T4	0.02	0.38	0.09	0.90	0.50	1.89	5

3 讨论与结论

枯萎病作为最严重的土传病害之一,而嫁接防治西瓜枯萎病是利用对尖孢镰刀菌西瓜专化型具

有抗性或免疫能力的葫芦、南瓜和野生西瓜等作砧木,以达到抗病增产、克服连作障碍的目的。西瓜嫁接技术是利用根系发达、抗病性强的葫芦、南瓜、瓠瓜或野生西瓜等作为砧木,借助砧木根系的强活

性与抗性,增强植株的养分吸收能力并提高光合作用效率。同时,由于砧木细胞结构更为强韧、木质部组织更为厚实,嫁接苗对枯萎病等土传病害的抵抗力也显著提升^[20-21]。抗性砧木已经广泛应用于瓜类及茄果蔬菜作物的生产,可以有效预防土传病害,提高植物抗病性及果实品质和产量^[22]。侯晟灿等^[23]研究了不同类型砧木对小果型西瓜枯萎病抗性的影响,发现使用葫芦砧木 J6 进行嫁接的小果型西瓜在提高抗病性上效果最佳。研究表明,嫁接甜瓜的植株长势明显强于自根苗,叶色更浓绿,坐果后期更耐早衰,并且可有效控制黑点根腐病的发生^[23]。嫁接可以提高不同植株对多种病害的抗性,如马铃薯晚疫病^[24]、番茄青枯病^[25]、瓜类枯萎病^[26-27]。在本试验中,通过使用 4 种不同的砧木进行嫁接处理,统计了西瓜枯萎病发病率和病情指数,发现 4 种不同的砧木嫁接后均能够不同程度地增强西瓜植株生长势,提高西瓜枯萎病抗性,其中抗枯萎病最佳的为白籽南瓜,其次为 ZTC、M08×ZTC,抗病性最差的为 M08。

由于砧木具有发达的根系,能够显著提高西瓜嫁接苗吸收肥水的能力,从而促进西瓜的生长发育^[28]。此外,砧木通过根系调控嫁接苗对土壤矿质元素的吸收和激素的合成,使植株嫁接后的生长势均强于实生苗^[29-30]。研究表明,在西瓜发育后期,与自根栽培相比,砧木嫁接植株在叶面积、株高、茎粗等方面表现出显著优势,其中以白籽南瓜青研一号的影响最为显著^[31-32]。陈东升等^[33]采用苏砧 1849、苏砧 1958、苏砧 1 号、苏砧 2 号等 4 种砧木材料,以航兴天秀二号小果型西瓜为接穗开展研究,结果表明,苏砧 1958 嫁接的西瓜综合表现最佳,其茎粗和叶面积最大,产量提升效果较好。本试验研究表明,嫁接西瓜生长势强于实生苗,使用了白籽南瓜、ZTC、M08、M08×ZTC 等 4 种砧木进行嫁接,通过测定株高、主蔓茎粗、叶片数、果实形态以及单瓜质量和产量等,发现不同砧木嫁接的植株长势差异明显。通过比较分析,发现以白籽南瓜作为砧木的植株在株高、茎粗和果实大小上比其他砧木嫁接更具有优势,这与统计的病情指数和发病率结果保持一致。

不同砧木嫁接的西瓜产量不同,使用南瓜和葫芦砧木嫁接的西瓜在单瓜质量与产量上都显著高于其他砧木^[34]。施先锋等^[35]研究表明,嫁接后的西瓜能提高单瓜质量。陈慕文等^[36]以绿虎无籽西瓜为接穗,比较了 10 种不同砧木嫁接对西瓜产量和果

实品质的影响,发现以京欣砧 4 作为砧木进行嫁接的西瓜产量及品质最佳。杨冬艳等^[37]通过隶属函数综合分析嫁接西瓜的长势与产量,发现各类型砧木增产效果依次为白籽南瓜类型砧木>野生西瓜砧木>葫芦类型砧木。在本研究中,白籽南瓜、ZTC、M08×ZTC 等 3 种砧木均可以促进西瓜的生长发育,提高单瓜质量和产量,其中白籽南瓜效果最优。

有研究认为,南瓜砧木嫁接亲和性不如野生西瓜,果实易空心 and 出现黄筋,导致西瓜品质下降^[38]。西瓜嫁接时,野生西瓜作砧木与接穗亲和性较好,从而不会对果实品质造成不利影响^[39]。嫁接对西瓜营养品质的影响因砧木品种不同而异,部分砧木品种嫁接会降低西瓜果实的可溶性蛋白含量^[30]。陈东升等^[33]研究表明,不同砧木嫁接对西瓜可溶性固形物含量的影响不同,其中以苏砧 1849 砧木嫁接的小果型西瓜中心可溶性固形物含量最高,以苏砧 1958 砧木嫁接的小果型西瓜边部可溶性固形物含量最高。大量试验结果证明了以野生西瓜作为砧木可以有效改善果实的品质性状。在本试验中,栽培地由于连续多年种植西瓜而受严重的枯萎病胁迫,在生长后期发病率和病情指数可分别高达 100%、100,笔者通过测定不同砧木嫁接对西瓜品质的影响,发现在枯萎病胁迫下,野生西瓜种质 ZTC 作为砧木时,品质方面综合表现最佳;在果实外形表现上,T4 处理的果实大小优于其他处理,但是果实中间出现明显空洞,而其他砧木材料嫁接后未出现此现象。

综上所述,采用单瓜质量在 1.5 kg 左右的小果型西瓜品种玲珑王为接穗,在重度连作地采用不同砧木嫁接时,不同砧木处理的植株均能有效增强枯萎病抗性,其中白籽南瓜表现最优,其次为 ZTC,但在果实品质方面,ZTC 优于白籽南瓜。白籽南瓜作砧木时出现了果实空心与裂缝现象,影响果实品质,降低其商品价值。在综合考虑商品价值与经济价值的情况下,以 ZTC 为砧木的嫁接处理比白籽南瓜为砧木的在优质高档西瓜生产方面具有更大的应用潜力。

参考文献

- [1] 林燧. 西瓜优质高产栽培技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2004.
- [2] 攸学松,马超,穆生奇,等. 不同类型砧木嫁接对小果型西瓜生长、产量和品质的影响[J]. 蔬菜,2023(12):20-23.
- [3] 汪炳良. 西瓜枯萎病及其发生特点和防控技术[J]. 新农村,2024(6):21-22.
- [4] LÜ G Y, GUO S G, ZHANG H Y, et al. Transcriptional profiling of watermelon during its incompatible interaction with *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*[J]. European Journal of Plant

- Pathology, 2011, 131: 585-601.
- [5] 韩金星, 洪日新, 周林, 等. 西瓜、黄瓜、甜瓜等瓜类枯萎病研究进展[J]. 中国瓜菜, 2009, 22(2): 32-35.
- [6] MARTYN R D. *Fusarium* wilt of watermelon: 120 years of research[J]. Horticultural Reviews, 2014, 42: 349-442.
- [7] ZHANG Z G, ZHANG J Y, WANG Y C, et al. Molecular detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and *Mycosphaerella melonis* in infected plant tissues and soil[J]. FEMS Microbiology Letters, 2005, 249(1): 39-47.
- [8] 刘叶琼, 赵彬, 汤伟华, 等. 不同嫁接方法对西瓜幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(19): 134-137.
- [9] LOUPIT G, BROCARD L, OLLAT N, et al. Grafting in plants: Recent discoveries and new applications[J]. Journal of Experimental Botany, 2023, 74(8): 2433-2447.
- [10] HUANG Y, ZHAO L Q, KONG Q S, et al. Comprehensive mineral nutrition analysis of watermelon grafted onto two different rootstocks[J]. Horticultural Plant Journal, 2016, 2(2): 105-113.
- [11] 郑高飞, 徐永阳, 徐志红, 等. 超丰 F₁ 砧木品种选育及其在西瓜抗重茬栽培中的应用[J]. 果树科学, 2000, 17(3): 207-213.
- [12] 李海真, 宫国义, 张帆, 等. 西瓜专用砧木京欣砧 4 号的选育[J]. 长江蔬菜, 2009(4): 61-63.
- [13] 贾长才, 李海真, 张帆, 等. 甜瓜、西瓜专用砧木品种京欣砧 3 号的选育和推广[J]. 中国瓜菜, 2011, 24(5): 28-31.
- [14] 王毓洪, 黄芸萍, 皇甫伟国, 等. 西瓜嫁接专用砧木“甬砧 1 号”的选育[J]. 浙江农业科学, 2006(4): 370-371.
- [15] 王毓洪, 应泉盛, 王迎儿, 等. 西瓜长季节栽培专用砧木甬砧 3 号的选育[J]. 中国蔬菜, 2012(10): 103-105.
- [16] 应泉盛, 王迎儿, 王毓洪, 等. 小果型西瓜专用砧木品种甬砧 5 号的选育[J]. 中国瓜菜, 2014, 27(3): 32-35.
- [17] 崔健, 宋云云, 刘素芹, 等. 西瓜嫁接砧木青研砧木 1 号南瓜[J]. 西北园艺(蔬菜), 2006(3): 37.
- [18] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [19] 李建明, 樊翔宇, 闫芳芳, 等. 基于蒸腾模型决策的灌溉量对甜瓜产量及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(21): 156-162.
- [20] 侯晟灿, 于玉红, 李军华, 等. 不同类型砧木对小果型西瓜生长及枯萎病抗性的影响[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(3): 68-73.
- [21] 孟佳丽, 吴绍军, 余翔, 等. 不同类型砧木对西瓜连作障碍消减的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7): 1110-1118.
- [22] 曹堃程, 刘晓漫, 郭美霞, 等. 作物土传病害的危害及防治技术[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 6-16.
- [23] 卢盼玲, 玄立杰, 张红梅, 等. 抗性砧木嫁接提高番茄枯萎病抗性机理研究[J/OL]. 西北农业学报, 1-9(2025-04-01). <https://link.cnki.net/urlid/61.1220.S.20250331.1515.002>.
- [24] 李悦欣. 嫁接提高马铃薯晚疫病抗性机理研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [25] 王益奎. 不同砧木嫁接对番茄增产及抗青枯病的作用机理研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
- [26] 刘晨. 嫁接对甜瓜连作障碍的缓解作用研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2022.
- [27] 叶云峰, 覃斯华, 付岗, 等. 不同砧木对西瓜枯萎病的抗性鉴定[J]. 北方园艺, 2018(22): 74-78.
- [28] 王彦刚, 孙德祥, 严文倩, 等. 不同砧木嫁接对西瓜生长及其品质、产量的影响[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(2): 4-6.
- [29] ROUPHAEL Y, CARDARELLI M, COLLA G, et al. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini- watermelon plants under deficit irrigation[J]. HortScience, 2008, 43(3): 730-736.
- [30] LOPEZ-GALARZA S, BAUTISTA A S, PEREZ D, et al. Effects of grafting and cytokinin-induced fruit setting on colour and sugar-content traits in glasshouse-grown triploid watermelon[J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2004, 79(6): 971-976.
- [31] 韦昌联, 韦志扬, 曾媛, 等. 不同砧木嫁接对兴桂六号西瓜生长及产量、品质的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(15): 33-36.
- [32] 赵利强. 不同种类砧木嫁接对西瓜生长发育和果实品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [33] 陈东升, 王洪旭, 王振雨, 等. 北京地区 5 种砧木对小果型西瓜生长、果实品质及产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(5): 66-71.
- [34] 马燕萍, 赖逸云, 应泉盛, 等. 不同砧木嫁接对西瓜果实营养品质及瓜氨酸代谢的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(1): 151-154.
- [35] 施先锋, 程维舜, 张娜, 等. 不同砧木品种对嫁接西瓜生长、品质及产量的影响[J]. 北方园艺, 2015(3): 27-30.
- [36] 陈慕文, 周经明, 王建, 等. 不同砧木嫁接对西瓜产量及果实品质的影响[J]. 农业工程技术, 2024, 44(31): 32-33.
- [37] 杨冬艳, 于蓉, 冯海萍, 等. 不同砧木对设施嫁接西瓜生长及品质影响的综合评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 50(6): 62-66.
- [38] 张春雨. 适合小果型西瓜嫁接的砧用南瓜新组合的配制和评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [39] 陈春秀, 王宝驹. 不同砧木嫁接对西瓜生长和品质性状的影响[J]. 上海农业学报, 2012, 28(3): 78-81.